时间感知在跨期决策中的作用—时间决策模型的新探索*

毕翠华 齐怀远

(四川师范大学心理学院, 成都 610066)

摘 要 “时间”是跨期决策的“必需品”，人们感知到的延迟时间决定跨期决策的结果。近年来，研究者发现“时间长度感知”、“时间资源感知”和“时间框架感知”是时间感知作用于跨期决策的主要方式。时间感知的神经作用机制包含微观层面和宏观层面两种。“对数/指数时间折扣模型”、“感知时间基础模型”及“多模态漂移扩散模型”解释了时间感知的作用方式。然而，现有理论模型还存在诸多局限，主要体现为“长短时距预测偏差”和“实际决策与预期决策偏差”两个方面。因此，深入探讨时间感知影响跨期决策的基本方式，分析现有理论模型的局限性并提出整合的机制框架具有十分重要的意义。未来研究亟需进一步整合时间感知的理论模型，开展脑机制与应用方面的研究，从深层揭露时间感知的作用本质，帮助个人与社会更理性地决策。

关键词 时间感知，跨期决策，时间决策模型，动态时间感知视角

分类号 B849: C91

1 引言

时间与价值是跨期决策的基本维度，个体决策时会对时间和价值充分比较 (Amasino et al., 2019)。跨期决策是指个体对发生在不同时间点，主要是现在与未来的备择方案进行权衡，进而做出选择与决策的过程(梁竹苑, 刘欢, 2011)。它不仅影响个人的身心健康与幸福，也关系到社会乃至国家的稳定发展。日常生活中，小到饮酒(选择此时饮酒享乐，还是未来身体健康)、购物(选择早买早享受，还是等待双十一优惠)；大到购买房产(选择一次付清，还是

收稿日期：2021–07–30

* 四川省社会科学规划项目(SC21B086)、四川省应用心理学研究中心重点项目(CSXL-21101)资助

毕翠华和齐怀远共同第一作者

通讯作者：毕翠华，E-mail: cuihuabi1215@163.com

按揭偿还)、医疗决策(选择尽快手术，还是等待数月后专家问诊)，决策者除了进行价值上的考量，更多地是考虑时间跨度带来的影响。虽然大量研究围绕价值维度展开了探索(李爱梅等, 2016; 李爱梅等, 2018)。但在时间维度上还存在诸多疑团，其中最大的问题是跨期决策取决于“客观时间”还是“主观时间”？如果是“主观时间”，那它如何作用于决策过程？

Takahashi(2005)发现人们对时间的主观感知可能是影响跨期决策更直接性的因素。Takahashi 的研究意味普遍适用的经典指数折扣模型(discounted utility model, DU)与双曲线模型(hyperbolic discounting model)可能存在信度与效度危机(Takahashi et al., 2008)。但事实上决策中的“时间”具有巨大的主观属性；即使给决策者呈现同一间隔时间，时间信息的呈现情景、呈现框架和决策者对于时间的态度等都可能导致最终预测结果不稳定，使决策随时间感知出现动态性的变化。“时间感知”不等同于“时间知觉”，“时间知觉”是对当下时间的较短时距(以毫秒、秒为范围)及时序的认知加工(黄希庭, 2005)，不涉及长时距的估计；而跨期决策的延迟时间多以“分”、“小时”甚至“年”为范围，且人们对延迟时间的时间感知是建立在未来情景预期的基础上(王盼盼，何嘉梅, 2020)，不仅涉及时间长短，还包含对时间流速变化以及伴随时间产生的情绪、注意等方面的感知。因此，本文用“时间感知”来定义跨期决策的时间加工过程(黄希庭, 1993; 索涛等, 2014)。许多研究者从不同角度构建时间相关的跨期决策模型(下文简称“时间决策模型”)，然而这些模型大多基于时间感知的一种或两种作用方式，面临一定的外部效度问题。这使得部分研究者依然采用经典 DU 模型或双曲折扣模型，但这样就对研究的准确性造成影响。因此，探究时间感知对跨期决策的影响机制，并构建普遍适用的时间决策模型是近些年研究者密切关注的问题(Kim & Zauberman, 2019)。本文依据现有时间感知与跨期决策的研究，从时间长度感知、时间资源感知、时间框架感知三个方面归纳了时间感知的基本作用途径，并从行为与神经视角分析归纳了时间感知的作用机制，阐述了现有时间决策模型的局限性，最后尝试从整体构建时间感知作用于跨期决策的机制。

2 时间感知影响跨期决策的基本途径

研究表明客观时间无法准确衡量“时间”对跨期决策造成的影响(李爱梅等, 2018; 索涛等, 2014; Han & Takahashi, 2012; Marini & Paglieri; 2019; Nan & Qin, 2019)，原因在于时间的表征与信息加工过程并无特定模式，生理、环境、人格、情绪以及认知因素的改变都将影响时间感知的结果(Marinho et al., 2018)。为准确描述时间的作用，需从时间感知影响途径与神

经机制进行分析。总结已有研究，本文将时间感知的作用途径归纳为时间长度感知、时间资源感知和时间框架感知三种。

2.1 时间长度感知的影响

“时间长度感知”是跨期决策的直接影响因素(Zauberman et al., 2009)。索涛等人(2014)采用时间复制法将被试分为时间感知较长组与时间感知较短组，结果发现前者更倾向选择即时较小的收益。这是由于个体感知到的延迟时间长于客观时间，就会对延迟收益赋予更低的主观奖赏值，进而选择较小的即时收益。反之，当感知的时间间隔短于实际延迟时间，冲动性便会降低，更偏好延迟收益。此外，除了直接测量，还可用直观模拟天平(visual analog scale)方法测量时间与价值维度的差异，考察跨期决策中时间长度感知的变化。该方法中，天平左侧代表“时间”维度差异；右侧代表“价值”维度差异；倾斜方向代表两个维度的差异大小，并用 1－7 点量表评分，分数越小代表时间维度上的差异越大；反之价值维度差异越大(江程铭等, 2016; 孙红月, 江程铭, 2016)。研究者向两组被试分别呈现“1 月后获得 1500 元，或 6 月后获 1800 元”与“73 月后获 1500 元，或 78 月后获 1800 元”两个时间间隔与价值相同的条件。发现前一组被试认为该条件的时间维度差异大于后一组，更偏好即时收益(焦长勇等, 2015; Zhou et al., 2021)。这说明决策者感知到的时间维度差异越大，时间长度感知就越长，越缺少等待的耐心而选择即时选项。

但时间长度感知的影响也受到某些因素的调节。一方面与损益条件有关，在损失条件下，人们对时间长度的感知要比收益情景下更短，使得人们可能更偏好较小损失，即延迟选项(Han & Takahashi，2012; 刘扬, 孙彦, 2016)。但当决策时提示被试选择延迟选项可能损失等待时间后，被试就可能发生偏好反转，原因是在提示时间损失后，人们对时间的注意权重增加，从而延长了时间感知长度，导致选择即时选项的概率增大(Zhao et al., 2015)。此外，如果人们意识到两个时间点所对应的事件之间存在因果联系，同样会缩短两个时间点间隔的长度感知(Fereday et al., 2019)。如 Faro 等人(2013)向投资者呈现目前债券涨幅趋势和现在、未来的债券收益额度，由于现在收益和未来收益存在因果关联，投资者时间长度感知变短，导致大部分人等待未来收益的倾向更强。

目前，跨期决策的时间长度感知研究主要聚焦于“一年”以下(Kim & Nan, 2019)，个体会高估较短时间距离，低估较长时间距离(Takahashi et al., 2008)。时间长度感知和时距估计的标量有关，即时间距离越大，人们对时间估计的结果就越不准确(Wagene & Hoffmann, 2010)。根据注意闸门模型，人们释放给时间维度的注意资源决定着时间长度感知的结果(Block &

Gruber, 2014)。当跨期决策的延迟时间过长(12 月以上)时，人们分配于时间的注意资源就会出现巨大的个体差异(Agostino et al., 2017)。因此，在较长的时间尺度下，时间长度感知对跨期决策的作用机制可能更为复杂。

2.2 时间资源感知的影响

除了时间长度感知的直接作用外，时间资源也是评断时间维度的重要因素。当个体感知时间资源较少时就会产生“时间贫穷”感，其主要表现为“时间压力”的增加(李爱梅等，2016)。时间压力通过改变个体对时间流逝与长度的感知而影响跨期决策。例如 Zhao 等人(2015)发现相比正常情景，具有时间压力的个体会消极地感知时间快慢，使个体更偏好即时选项。这是因为时间压力，将引起不满情绪导致急躁与不耐烦，从而丧失耐心使得人们选择即时收益(Muehlbacher & Kirchler, 2019)。此外，时间压力还会改变个体分配于“价值”与“时间”维度的注意资源，影响延迟收益的估计。Marini 等人(2019)通过“诱饵效应”证实了这一观点。“诱饵”即跨期决策中的一条无关选项(如即时选项：今天获得 14 美元；诱饵选项：5 周获得 25 美元；延迟选项：8 周获得 80 美元)。研究发现，在无时间压力条件，“诱饵”比“无诱饵”条件下被试更偏好即时选项；而在时间压力条件下，呈现“诱饵”则会增强被试对延迟选项的偏好。这是由于在无时间压力条件下，被试容易直接比较时间差异最大的“即时选项”与“诱饵选项”，被试将注意更多分配在“时间”维度上；而唤起时间压力后，被试倾向直接比较价值差异最具参考性的“诱饵选项”与“延迟选项”。因此，时间资源感知匮乏改变了跨期决策过程对“价值”的权重，影响了决策偏好。

与时间压力相反，时间充裕(time affluence)是指一个人没有太多匆忙、忙乱或忙碌感，有大量时间可以进行支配(Szollos, 2009)。时间充裕在时间感知上表现为对时间流逝感知变慢，易使个体感知时间更长，从而增强耐心，使个体更愿意等待延迟收益 (Rajagopal & Rha, 2009)。时间充裕感让人们有更多的时间支配完成任务活动或者享乐，增强积极情绪及幸福感(Whillans et al., 2017)，而积极情绪情感下的跨期决策会由于执行控制等注意功能网络的增强变得更加理性(Celeghin et al., 2017; Khosravi et al., 2020)，人们愿意用充足的时间反复权衡时间与损益的关系。但时间充裕可能促使个体更趋近于“享乐”，也可能激活情绪情感而作用于时间感知以及决策本身，也可能促使个体进行“自我提升”，只有后者可能增强个体对延迟奖励的偏好。但是至今时间充裕和跨期决策的直接证据还很匮乏，其具体的影响路径有待探索。

2.3 时间框架感知的影响

“时间框架”是指跨期决策的时间信息通过不同的形式进行表述(Kim & Jang 2017)。时间框架的作用机制在于影响延迟时间的信息加工。具体而言，当时间框架使个体对时间信息复杂化或模糊化加工，就会增加个人在时间维度的注意负荷(Kim & Nan, 2019)，从而导致时间感知发生改变；而明确清晰的时间框架更便于个体的时间信息加工，个体在时间维度所分配的注意资源就会减少，所产生时间感知将进一步影响决策过程(Kees, 2010)。

时间框架主要包含“时间描述框架”和“时间方向框架”两种。时间描述框架是对一个完整时间段进行分解描述(不分解描述：从今年 11 月 1 日，到明年 1 月 31 日；分解描述：从今年 11 月 1 日经过 11 月、12 月、明年 1 月，到明年 1 月 31 日)。时间的分解操作会延长人们的时间长度感知，降低耐心导致个体对即时选项偏好增加(刘扬, 孙彦, 2016)。对于时间方向框架，Kim 与 Jang (2017)发现在高热量食品(损失条件)上标注未来时间信息(生命漫长)会降低人们的购买意愿，而标注现在时间信息(生命有限)则会加强人们即时消费的意愿。庄锦英等人(2017)则直接在金钱跨期决策任务中将时间描述为过去和未来方向(过去：1 个月前意外获得 2000 元，等 1 个月自由支配或减少一些收益立即获得；未来：1 个月后可以获得 2000 元，等 1 个月自由支配或提前减少收益立即获得)。结果表明，个体在未来时间方向的折扣率会大于过去时间方向，表明未来时间框架增强了个体对即时选择的偏好；而过去时间框架下，决策结果并不会因延迟时间的增加而改变。原因在于时间方向框架改变了个体对未来、过去或现在时间的关注程度(Nan & Qin, 2019)，并进一步激活相应时间方向所涉及的决策情景，个体对情景的消极或积极预期会影响决策的选择动机。过去方向的决策只是一种回溯，并不能改变现实的决策结果，因此对时间和利益的权重都会降低。

2.4 时间感知作用于跨期决策的神经机制

从行为层面可以发现时间长度、时间资源和时间框架对跨期决策的影响并不是彼此独立的过程，时间长度感知可能是各时间因素的共同机制。但时间感知与跨期决策神经机制的研究相对较少，无法直接揭示时间感知的深层次机制。已有研究表明时间长度感知、主观价值评估和冲动性三者的神经网络的激活直接影响跨期决策的行为(Sripada et al., 2011; Wittmann & Paulus, 2008; Wittmann et al., 2011)；而皮质 - 边缘 - 纹状体神经回路能解释时间感知作用的整体机制(Fobbs & Mizumori, 2017)。因此，本文试图从微观与宏观两个角度总结时间感知影响跨期决策的神经机制。

从微观层面，跨期决策与时间长度感知、主观价值评估和冲动性相关脑区的激活密切相

关。决策时个体需要反复评估时间与价值选项，此时与价值评估相关的内侧前额叶皮层(medial prefrontal cortex, MPFC)、后扣带皮层(posterior cingulate cortex, PCC)、腹侧纹状体(ventral striatum, VS)、多巴胺神经回路(dopamine circuit, DC)、纹状体(striatum)和岛叶(insula)和顶叶(parietal)等脑区会得到相应激活(Sripada et al., 2011; Wittmann & Paulus, 2008)，其中MPFC、PCC、VS、DC 和后侧的背内侧前额叶(dosalmedial prefrontal cortex, DMPFC)与评估即时收益相关；前侧 DMPFC 则与评估延迟收益相关(McClure et al., 2004; McClure et al., 2007; Wang et al., 2014)。同时，时间长度感知网络也会得到激活，包括前额叶(prefrontal cortex, PFC)、下顶叶(inferior parietal lobe, IPL)、前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)、前脑岛(anterior insula, AI)、和基底神经节(basal ganglia, BG)等脑区(Üstün et al., 2017; Ivry & Schlerf, 2008)，其中后侧 PFC 负责较短延迟时间的感知；前侧 PFC 则负责较长延迟时间的感知(Koritzky et al., 2013)。从脑区的激活范围与顺序来看，主观价值评估可能是时间长度感知的结果(Tanaka et al., 2004)。首先，决策中时间信息会根据延迟时距的长短分别激活前侧 PFC 或后测 PFC 等区域进行时间加工(Koritzky et al., 2013)。随后，会继续激活负责评估即时或延迟收益的后测 DMPFC 与前侧 DMPFC 并进一步引起其余价值评估神经网络的激活(Wang et al., 2014)。最后，价值评估完成，引发相应的决策行为(McClure et al., 2004)。但是在实际决策中时间长度感知与价值评估可能存在相互作用。主要原因是人们评估时间与价值时需要反复比较两者之间的差异(Amasino et al., 2019)。Pine 等人(2009)发现比较时间与价值的不一致性程度与背侧的 ACC 激活有关。因此，时间长度感知引起价值评估过后，个体可能对时间与价值进行比较并再次激活时间长度感知。此时，价值评估可能对时间长度感知存在一种反馈机制，这可能与 MPFC 区域同时参与时间和价值评估相关。价值评估中，Wang 等人(2014)发现即时奖励和延迟奖励会在背侧 MPFC 中进行表征，并在腹侧 MPFC 中完成比较；而时间感知中，研究者在限制大鼠 MPFC 的激活后发现大鼠无法有效地进行时间估计，但是激活该区域后发现 MPFC 是传递时间信息的神经通路(Kim et al., 2018; Xu et al., 2014)。由此可见，激活MPFC 完成即时与延迟价值的表征与比较后，MPFC 可能会进一步传递时间信息重新评估时间以完成反馈；而背侧的 ACC 可能负责比较时间与价值从而决定这一反馈通路的激活程度。

此外，时间长度感知还可能通过冲动性影响价值评估。Wittmann 和 Paulus(2008)发现跨期决策时的冲动性与下额叶(inferior frontal lobe, IFL)、内侧额叶(medial frontal cortex, MFC)、AI 和 IPL 脑区相关。而时间长度感知、价值评估神经网络与冲动性在脑岛、MFC 和 IFL 存在大面积重合(Ikink et al., 2019; Sripada et al., 2011; Wittmann & Paulus, 2008)。当个体的时间长度感知过长时，可能会先激活 MPFC 引起冲动性，随后 MPFC 激活引起即时收益的高估，

导致执行控制机能下降从而选择即时奖励；而时间长度感知过短则会使 IPL 激活增强，降低个体的冲动性，引发延迟价值估值更高从而选择延迟奖励(Sripada et al., 2011; Wittmann & Paulus, 2008; Wittmann et al., 2011)。本文将上述机制归纳于图 1。

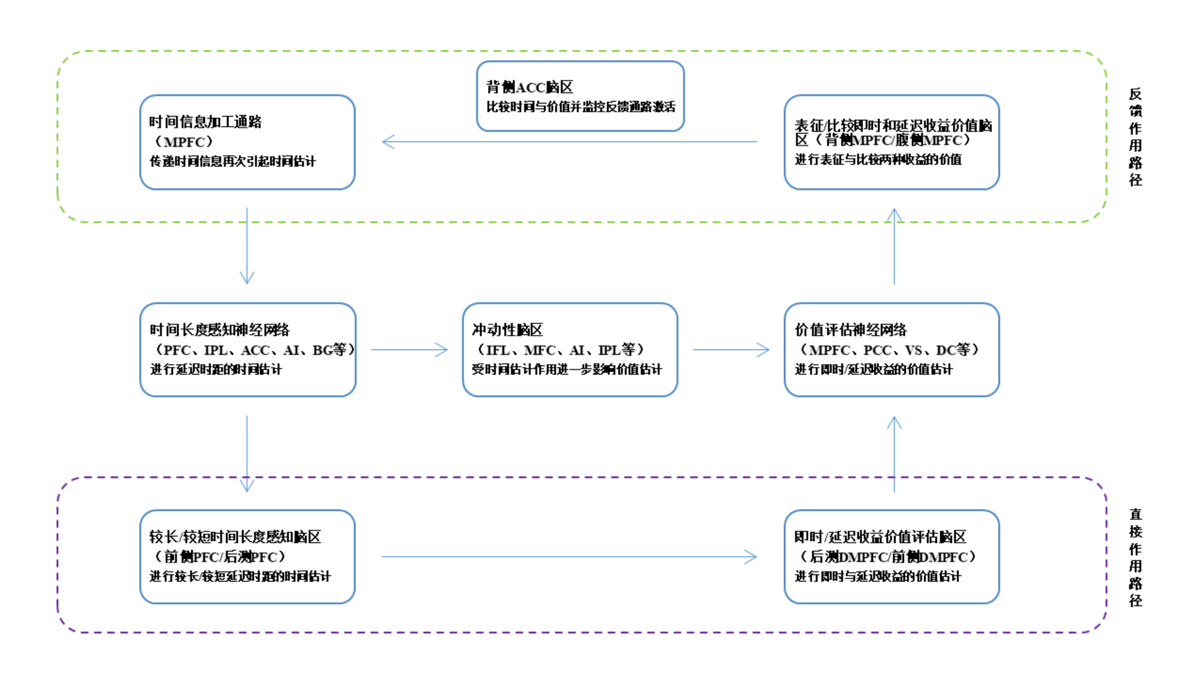


图 1 跨期决策的时间长度感知与价值评估相互作用神经机制

从宏观层面来看，跨期决策还会激活海马(hippocampus)和杏仁核等区域来完成未来情景的预期(Reeck et al., 2021)，主要原因在于实际决策比金钱决策任务包含更多干扰性因素，人们需要对未来可能遭受的风险损失预期后才能最终评判收益的价值(Bradford et al., 2019)。该过程依靠于皮质 - 边缘 - 纹状体神经回路完成，回路涉及 5 个关键区域和功能：前额叶皮质(prefrontal cortex, PFC)首先得到广泛激活，决策者在经验作用下完成初始价值评估；随后引发海马体活跃，完成决策情景的预期表征过程；之后 DC 和基底外侧杏仁核(basolateral amygdala, BLA)受到激活，完成决策的时间与价值感知过程；然后 VS 的伏隔核(nucleus accumben, NA)区域激活，完成决策信号的接收与转换；最后 DC 和眶额叶皮质(orbital frontal cortex, OFC)主要区域受到激活，更新决策者的价值预期；若此时还未做出选择，将再次激活 PFC 等区域回路进一步决策(Fobbs & Mizumori, 2017)。整个过程中海马体和 DC 两个节点分别是情景预期和时间感知的神经基础，他们的激活尤为关键(Paternoster & Pogarsky, 2009; Paasche et al., 2019)。从该神经回路可以发现宏观层面上时间感知是决策的重要一环，它受到情景预期的作用，然后影响后续的价值预期，最终转化成决策行为。

通过微观和宏观机制可以较全面地理解决策中的时间加工过程。但是，不同长短的时间

感知可能会由不同的神经通路负责(Agostino et al., 2017)，使得不同时距的决策神经网络也有所不同。延迟时距小于 1 年时，延迟收益与腹内侧纹状体和脑岛的激活相关；而延迟时距超过 1 年时则与背侧区域激活相关(Wittmann & Paulus, 2008)。虽然腹内侧纹状体、脑岛和 PFC 都为时间长度感知的相关脑区，但他们如何在跨期决策中起作用还需要进一步探索。

3 时间决策模型的解释机制

3.1 对数/指数时间折扣模型

对数时间折扣模型基于心理计时器理论(详见表 1)，该模型认为人类对客观时距的感知并不是线性对应，而是遵循对数关系。人们的跨期决策过程是将客观时距自动按照对数形式转化为主观的时间长度感知，进而作出决策的过程(Takahashi, 2005)。对药物依赖患者的研究证明了该假说，跨期决策中的时间长度感知多与 DC 的激活相关，而这些患者相应神经回路紊乱，导致对延迟时间的高估，因此具有更低的主观延迟价值和更高的折扣率(Wittmann et al., 2007)。

而指数式时间折扣模型是基于跨期决策中的“次可加性(subadditivity)”现象，即相较于完整时间段，将时间段划分为更小单元后计算得到的延迟折扣率会更大，对即时选项偏好更强(Read, 2001)。导致该现象的原因是人们在时间长度感知时，对长时距有更短感知，对短时距有更长感知，因此遵循斯蒂文思定律(即指数关系)。Takahashi 等人(2008)根据上述关系构建了指数时间折扣模型(Exponential discounting with Stevens’power time perception)(详见表 1)。该模型与对数时间折扣模型的区别不仅在于认为人们通过指数模式感知跨期决策的时间，还将“特质冲动性”看做影响时间长度感知的重要参数，体现为冲动性会延长时间长度感知(Paasche et al., 2019)。从两种模型拟合度与实际决策结果来看，利用对数或指数时间折扣模型预测，均优于经典跨期决策模型，且在实际决策时指数时间折扣模型表现出更好的效果(Andersen et al., 2014; Takahashi et al., 2008)。

3.2 感知时间基础模型

前两个模型开创性地引入“主观时间”来解释时间长度感知收缩导致的跨期决策预测偏差。但在模型的建构上忽视了时间感知的个体差异。例如面对 1 年后获得 1000 元/3 年后获得 2000 元，其中对 2 年的时间长度感知会按照对数关系进行收缩，有的人会缩短为 0.44 倍，而有的人可能会缩短为 0.64 倍。这种差异可能来源于个体对于时间的态度和冲动性，甚至是在跨期决策任务中反应时的差异。Zauberman 等人(2009)引用“时间敏感度”这一变化的

参数来表示个体在时间长度感知上的差异，提出了感知时间基础模型(Perceived time based model, PTBM) (详见表 1)。该模型认为，感知的时间长度短，会缩小延迟奖励的等待时间，表现出更强的耐心而选择延迟收益；而感知的时间长度长，不仅会增加个体的冲动性还会放大“等待”的风险(Kim & Zauberman, 2019; Bradford et al., 2019)，导致人们最终选择即时收益。同时，时间长度感知也会影响人们衡量收益价值的大小，即时间估计较长可能降低个体心中未来收益的价值(Apaydın et al., 2018)。另一方面，人们感知时间的个体差异会影响时间长度感知进一步影响延迟折扣。在较短延迟时间下，不同的时间敏感度造成了群体研究数据中折扣率的非线性变化。而随着延迟时间的增加，人们的折扣率会不断降低并趋于稳定，这意味着时间感知对跨期决策的作用可能存在固定的解释范围，在较短(数小时或数天)或较长(3 年或 10 年)延迟时间下，时间长度感知似乎无法解释跨期决策结果的变异(Han & Takahashi, 2012)。

3.3 多模态漂移扩散模型

多模态漂移扩散模型(multi-attribute drift diffusion model, MADDM)以经典漂移扩散决策模型和双曲折扣模型为基础(详见表 1)。“漂移”是指决策中的方向性运动过程。例如，某决策者在即时选项与延迟选项间更加偏好于后者，那么在同时呈现两种选项时，该决策者的注意偏向会从选择即时向选择延迟方向运动。“扩散”则用来描述决策时的动态心理过程(Tavares et al., 2017)。这源于决策者在做出最终选择之前会反复在即时选项与延迟选项间抉择。在跨期决策时决策者不会仅感知价值维度，而是动态反复地在各时刻将注意不同程度地分配于时间和价值两个维度上(Fisher, 2017; Moos et al., 2012)，对价值的评估本质上是对两个维度多次评估“累积”的过程(Baldassi et al., 2020)。Amasino 等人(2019)为此构建了多模态漂移扩散模型，认为个体最终跨期决策的结果是对“时间”和“价值”两个维度注意并评估后得到的主观价值的累积值。该模型将“注意”看做是时间长度感知和价值估计的重要参数，解释了时间资源感知以及时间框架感知情景中，个体对时间关注程度对跨期决策的影响。总结来看，上述理论都从心理属性的某一方面揭露了时间感知的作用机制，相应的模型仅局限于解释特定情景和范围的跨期决策，缺乏统一的理论。

表 1 不同时间决策模型的解释机制

模型名称与提出者	时间感知与客观时间的构建		整体模型	
	公式	公式解释	公式	公式解释

对数/指数时间折扣模型 Takahashi 等人(2005) Takahashi 等人(2008)	$T = a\ln(1 + bD)$ (a) $T = cD^s$ (b)	时间感知与客观时距呈对数关系；T 为对延迟时间的时间长度感知；a 为自由参数，b 是与自我控制有关参数；D 为延迟时距，c 自由参数；s 为冲动性参数。D 为延迟时距。	$SV = Ae^{-kT}$ (1) $SV = Ae^{-ka\ln(1+bD)}$ (2a) $SV = Ae^{-kcD^s}$ (2b) $SV = A/(1 + bD)^{ka}$ (3a) $SV = Ae^{-kcD^s}$ (3b)	SV 为折扣后收益的主观价值；A 为延迟收益的客观价值；k 为延迟折扣；e 为自然对数底。
感知时间基础模型 Kim 和 Zauberman (2009)	$T = \alpha D^{\beta}$	时间感知与客观时距呈指数关系；T 为对延迟时间的时间长度感知；α 为时间收缩程度，即感知值与客观值之比；β 时间敏感度,反映个体差异； D 为延迟时距。	$SV = Ae^{-kT}$ (1) $SV = Ae^{-k\alpha D^{\beta}}$ (2)	SV 为折扣后收益的主观价值；A 为延迟收益的客观价值；k 为延迟折扣；e 为自然对数底。
多模态漂移扩散模型 Amasino 等人(2019)	$T = \delta`_T(T_{left} - T_{tight})$	时间感知是左侧和右侧选项的时间差与注意程度的函数。T_{left}，T_{tight}分别为左侧选项和右侧选项的时间；$\delta`_T$为整体对时间的注意程度	$SV = A/(1 + kT)$ (1) $SV_t = SV_{t-1} + \frac{\delta_A A_{left}}{1+\delta_T T_{left}} - \frac{\delta_A A_{right}}{1+\delta_T T_{tight}}$ (2) $SV_t = SV_{t-1} + \delta`_A(A_{left} - A_{tight}) - \delta`_T(T_{left} - T_{tight})$ (3)	SV 为折扣后收益的主观价值；A 为延迟收益的客观价值；k 为延迟折扣；SV_t是最终时刻的主观收益值；SV_{t-1}为上一时刻的最终主观收益值；A_{left}，A_{tight}分别为左侧选项和右侧选项的价值；δ_A与δ_T分别为对价值和时间的注意程度；$\delta`_A$为整体对价值的注意程度。

注：整体模型公式中的(1)、(2)、(3)为公式的推导步骤；其中“公式(1)”为跨期决策基准模型(DU 模型或双曲线折扣模型)；末尾项公式为最终的时间决策模型，如对数时间折扣模型中的“公式(3)”；对数/指数时间折扣模型中公式(a)为对数模型，(b)为指数模型。

4 时间决策模型的局限与解释

已有的模型存在“长短时距预测偏差”和“实际决策与预期决策偏差”两种局限：(1)个体对延迟收益的价值评估会随时间感知长度增加而不断下降，但最终在较长时距下会趋近于一定范围，而该范围却远大于理论值；(2)现有时间决策模型无法准确解释动态不一致现象，实际决策与预期条件下仍存在较大差异(Kim & Zauberman, 2009; Kim & Zauberman, 2019; Takahashi et al., 2008)。本文认为决策中缺乏动态性时间感知思维是导致两种现象的根本原

因。

4.1 长短时距预测偏差

动态性时间感知视角包含两种思维模式，一是具有根据经验构建未来情景的能力，能够结合情景对跨期决策的时间与价值进行有效预期；二是具有将延迟时间分段预期的能力，可以根据经验构建不同时间点的决策情景，并对时间与价值进行有效预期。而长短时距预测偏差则可能由个体缺乏思维模式一导致。

根据各时间决策模型，时间长度感知过长或过短都会导致跨期决策结果的差异，但从前文时间感知的微观神经机制可以看出，时间长度感知在不同长短时距范围的认知加工模式是不一致的。这种差异与行为层面的主观时间收缩程度相对应：即较短时距下时间长度感知结果偏离真实值相对较小，感知结果准确；而时距越长人们越偏离真实值越大，结果越受到个体认知差异的影响，如 10 天和 100 天对前者感知更准确(Agostino et al., 2017)。与此同时，这种时间收缩可能导致在长时距下无法准确预测跨期决策的结果。

另一方面，个体在时间态度动机上存在差异，导致部分决策者无法构建未来情景因而不能准确评估延迟收益(Damsma et al., 2020)。研究发现未来时间洞察力者持有关注未来时间的态度动机，将视野投向未来，并且具有较强的未来情景的建构能力；而相反，现在/过去时间洞察力者则持有关注现在或过去时间态度动机，缺少对未来决策情景的构建，因此在决策时也会更偏向即时收益(Chen et al., 2018; Simons et al., 2004; Zimbardo & Boyd, 1999)。时间态度动机的差异导致了长短时距下通过时间感知预测跨期决策存在偏差，但这并不是指时间态度动机会抛开时间感知直接影响跨期决策。研究发现，未来时间洞察力能激活未来情景思维相关的腹内侧前额叶皮质(Ventral Medial Prefrontal Cortex, VMPFC)区域(Guo et al., 2017)，而该区域也负责时间长度感知 (Üstün et al., 2017)。因此，时间态度动机可能通过时间感知路径来间接影响跨期决策。

4.2 实际决策与预期决策偏差

实际决策与预期决策差异就是通常意义上跨期决策的动态不一致现象，即个体在预期条件下的选择结果，随着时间的推移，人们再一次面对同样的备选方案可能出现选择的反转(Sadoff et al., 2020)。以往研究用金钱决策任务来观察决策者的偏好反转，但金钱跨期任务中的动态不一致非常有限，与现实决策背景下的选择并无明显关联，且现实情境下决策的动态不一致更常发生(Carvalho et al., 2016; Sprenger, 2015)。以往研究将动态不一致归因于两种解释，一种解释是人们普遍存在即时偏好，未来收益所具有的不确定性阻碍了人们的精准预期，

但选择即时收益后的一段时间再进行选择，这种不确定性风险都会降低。所以人们对延迟选项的偏好会增强从而出现动态不一致性(Sayman & Önc üler, 2009; 陆阳,庄新田,2015)；另一种解释是个体的实际经历让他们觉得最初选项的收益低于预期或损失高于预期，因此导致了再次选择时的偏好反转(Augenblick et al., 2015; Kaur et al., 2015)，例如规定 1 个月后提交课程论文，学生可上交 100 元班费延期 1 周提交；在最开始时间点大多数同学不会选择交费延期，但临近 1 月期限时，大量本不愿交费延期的同学由于实际难度高于原本预期而选择交费以获得延期。

一方面，个体过长或过短地感知时间长度是动态不一致出现的重要原因。例如当个体短估时间长度而选择延迟奖励后，在等待的过程中耐心却不及预期，因此当有机会再次选择时也会出现动态不一致。此外，时间感知引发的动态不一致还会受到自身经验的影响(例如经验会指导与过去经历相似情景下的决策，可能减少动态不一致)，但是当研究者提醒决策者意识到自身的经验偏见，并试图消除经验以及不确定性的作用后，发现动态不一致依然存在(Augenblick et al., 2015; Carvalho et al., 2016)。因此，自身经验并不是解释时间感知引发动态不一致的主要原因。而直接原因可能是决策者缺少“动态时间感知”的思维模式。具体而言，跨期决策需要决策者在较短时间内完成对时间和价值的预期过程，但预期时的情景建构存在个体水平的差异(Stephan et al., 2011)。并且对时间的感知是一次次累积的过程(Amasino, et al., 2019)，即使个体具有思维模式 1，能预期自己实际履行决策时的未来情景，但这种思维模式仅对比了决策起点与终点，并未对过程中主要时间点的时间做出预期(Masuda et al., 2020)。因此，可能导致决策过于“乐观”或“保守”表现出非理性，因而再次导致决策出现动态不一致。所以辨别决策者是否具备两种“动态时间感知”思维模式，有助于解释利用时间感知预测跨期决策时所存在的动态不一致问题，并可以利用其降低动态不一致发生的概率。

总之，“长短时距预测偏差”和“实际决策与预期决策偏差”两种局限都与缺乏动态性时间感知视角有关，而动态时间感知视角的核心在于充分预期未来情景并进行时间感知。“预期”是使跨期决策趋于理性的必要因素，也是影响时间感知的重要因素，但是预期情景下时间感知模式如何变化还缺少相关的研究。虽然 Kim 和 Zauberman(2009)构建了预期条件下的时间决策模型，但是对于远期的跨期决策仍然需要进一步探究。目前已知的是时间态度动机会影响个体的预期水平，并且可以解释超长时距下的跨期决策结果，主要包括时间洞察力、拖延和时间取向等(Chen et al., 2018; Zhang et al., 2019; Nan & Qin, 2019)；而海马体、VMPFC 等脑区是情景预期、时间态度动机和时间感知所共有的脑区(Chen et al., 2018; Guo et al., 2017; Nani et al., 2019 ; Teki et al., 2017)，未来可以从时间态度动机方面展开深入探索。

5 小结与展望

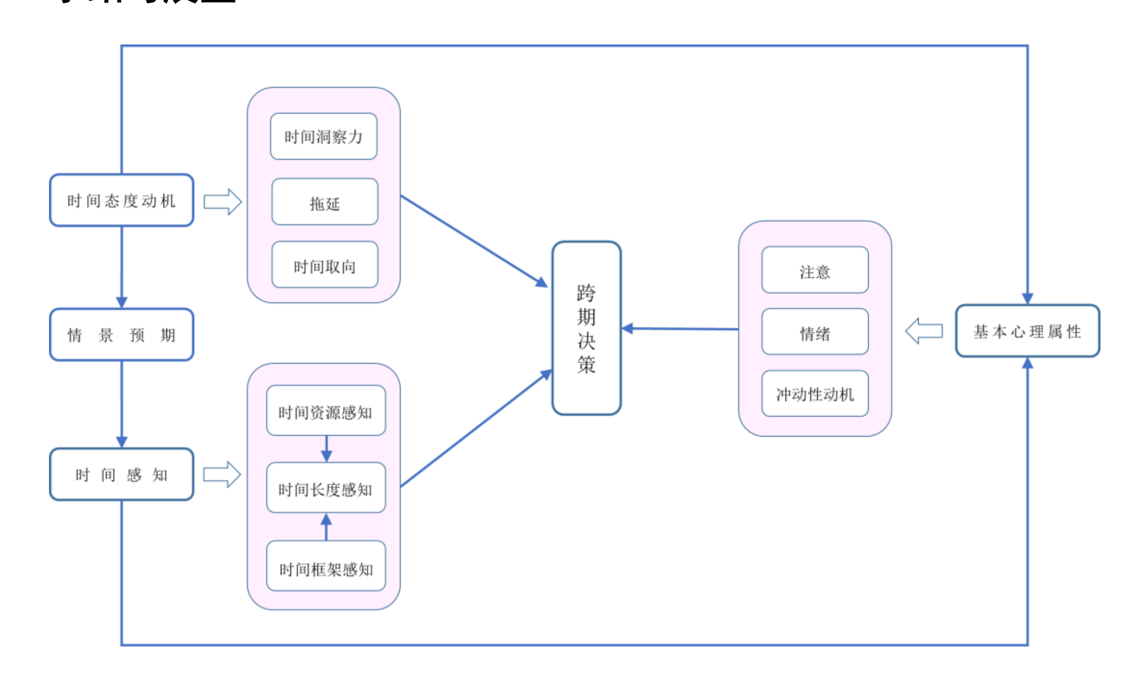


图 2　时间感知对跨期决策的作用机制

时间感知影响跨期决策，但运用时间感知对跨期决策进行解释还需综合考虑时间感知的作用机制，本文构建了整体的时间感知作用机制(见图 2)。该作用机制包含以下特点：(1)时间长度感知是跨期决策最直接的因素；时间感知内部的时间资源感知和时间框架感知，会通过“时间长度感知”直接影响决策 (王鹏等, 2019)。(2)时间感知会受到时间态度动机和情景预期的影响(Siu et al., 2014; Yamada & Kawabe, 2011)；时间态度动机(主要包括时间洞察力、拖延和时间取向)会通过基本心理属性影响跨期决策(Zhang et al., 2019; Nan & Qin, 2019)。(3)通过时间感知来解释跨期决策时，需同时将时间态度动机和基本心理属性这两个重要的方面纳入考量范围。为时间决策模型能更准确地解释和预测跨期决策，未来还需开展如下研究：

5.1 开展相关研究，构建整体时间感知决策模型

跨期决策时不同个体对同一延迟时间的感知既存在一致性的特点，也会由于知觉经验的影响而出现不一致性；换言之，个体会遵循一定的函数模型来感知时间，但是时间态度动机的存在会导致个体感知的差异性。未来需要开展相应的研究，明确各因素之间的作用关系，并建立一个统一的模型将注意、冲动性、时间态度动机和动态性等进行整合。为了方便建模可以依据 Kim 和 Zauberman(2009)考虑将不同因素结合，对 “时间”进行“升维”，如“个体差异→时间→跨期决策”这一路径可以归类为更高维的 “时间敏感度”参数来概括个体差异和时间的共同作用。但是这种“升维”同样需要考虑延迟时距的条件，因为并不是任何

时距下“升维”后参数都会起到恒定的结果。所以可以改变参数的“作用权重”以达到良好的预测效度。

5.2 加强时间与跨期决策脑机制的研究

一方面，开展脑机制的研究有助于从神经生理层面验证现有模型的合理性，例如 Samanez-Larkin 等人(2011)通过监测不同年龄参与者纹状体活跃程度的差异，发现纹状体可能是时间敏感度差异的主要来源，验证了感知时间基础模型的参数(Kim & Zauberman, 2009)。另一方面，脑机制的研究有助于提出新的理论假设。例如不同延迟时距下时间感知预测跨期决策的效果不一致，可能是由于长/短延迟时距下的跨期决策存在不同的神经机制。已有研究表明，在短延迟时距下，背侧 PFC 区域参与时间感知的加工，而在长延迟时距下，腹侧 PFC 得到激活(Koritzky et al., 2013)。以及之前提到的“动态时间感知观点”都与跨期决策时相应脑区的激活有关(Guo et al., 2017)，而这些脑区又属于“时间感知”的神经网络，参与时间的加工。因此，未来有必要进一步开展脑机制的研究，从神经生理层面辨别时间感知与其他认知功能对跨期决策的作用效果，为时间感知与跨期决策的内在机制提供依据。

5.3 训练动态时间感知视角，促进理性跨期决策

研究表明，各类成瘾患者在戒断时期普遍存在跨期决策的非理性，决策时常出现动态不一致(Li et al., 2019)，这严重地影响到成瘾者戒断计划的实施。主要原因可能在于缺少动态时间感知视角，在安排戒断计划时，成瘾患者会错误地估计时间间隔，从而夸大了自身的忍耐程度。如吸烟成瘾者在计划戒烟日程中可能对较远的时间距离感知过长，这可能就缩小了吸烟所带来的真实风险(如认为喉癌类似疾病很久才会到来)，让戒断计划拖延更久，带来更大的风险隐患(Kim & Kim, 2018)。通常，个体在跨期决策时预期条件下的时间感知是一种静态的视角，易受到特定情景下注意、情绪和经验记忆等影响(Eryilmaz et al., 2011; Zhou, 2013)。人们面对收益时可能容易将时间长度感知过短，常常“急于求成”；而面对损失时则可能容易夸大时间感知的长度，倾向“及时止损”，两种决策的结果都对应着更大的损失。而为了避免这类决策带来的消极影响甚至避免个体与社会的金融风险，就需要训练动态时间感知视角去认知时间，考虑不同时间点时的决策情况避免一次性预期，从而促进理性决策。

参考文献

黄希庭，张志杰，凤四海，郭秀艳，吕厚超，陈莹．(2005)．时间心理学的新探索．*心理科学，6*，6–9+15.

黄希庭．(1993)．时距信息加工的认知研究．*西南师范大学学报(自然科学版)，2*，207–215.

江程铭，刘洪志，蔡晓红，李纾. (2016).跨期选择单维占优模型的过程检验. *心理学报 48*(1),59–72.

焦长勇，赵雷，何铨，胡凤培，江程铭. (2015).跨期选择中的跨时间周期效应. *应用心理学 21*(2),124–130.

李爱梅， 孙海龙， 熊冠星， 王笑天， 李斌．（2016）． “时间贫穷”对跨期决策和前瞻行为的影响及其认知机制． *心理科学进展，24*(6)，874–884.

李爱梅， 王海侠， 孙海龙， 熊冠星， 杨韶丽．（2018）． “长计远虑”的助推效应:怀孕与环境跨期决策. *心理学报，50*(8)，858–867.

梁竹苑，刘欢．（2011）．跨期选择的性质探索． *心理科学进展，19*(7)，959–966.

刘洪志，江程铭，饶俪琳，李纾. (2015).“时间折扣”还是“单维占优”?——跨期决策的心理机制. *心理学报* (04),522–532.

刘扬，孙彦．（2016）．时间分解效应及其对跨期决策的影响． *心理学报，48*(4)，362–370.

陆阳，庄新田. (2015).跨期决策中动态不一致性程度研究. *东北大学学报(自然科学版)*(05),753–756.

孙红月，江程铭. (2016).跨期决策是基于选项还是基于维度?. *心理科学进展 24*(3),431–437.

索涛，张锋，赵国祥，李红. (2014).时间感知差异对跨期选择倾向的影响作用. *心理学报, 46*(2), 165–173.

王盼盼，何嘉梅. (2020).情景预见对跨期决策的影响机制. *心理学报*(01),38–54.

王鹏，王晓田，高娟，黎夏岚，徐静. (2019).适应性时间管理：死亡意识对时间知觉和跨期决策的影响. *心理学报*(12),1341–1350.

庄锦英，应娟娟，杨文渊. (2017).时间方向等因素影响跨期决策的实验研究. *心理与行为研究*(02),218–222.

Agostino, C. S., Caetano, M. S., Balci, F., Claessens, P. M., & Zana, Y. (2017). Individual differences in long-range time representation. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*(3), 833–840.

Amasino, D. R., Sullivan, N. J., Kranton, R. E., & Huettel, S. A. (2019). Amount and time exert independent influences on intertemporal choice. *Nature Human Behaviour*, *3*(4), 383–392.

Andersen, S., Harrison, G. W., Lau, M. I., & Rutström, E. E. (2014). Discounting behavior: A reconsideration. *European Economic Review*, *71*, 15–33.

Apaydın, N., Üstün, S., Kale, E. H., Çelikağ, İ., Özgüven, H. D., Baskak, B., & Çiçek, M. (2018). Neural mechanisms underlying time perception and reward anticipation. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 115.

Augenblick, N., Niederle, M., & Sprenger, C. (2015). Working over time: Dynamic inconsistency in real effort tasks. *The Quarterly Journal of Economics*, *130*(3), 1067–1115.

Baldassi, C., Cerreia-Vioglio, S., Maccheroni, F., Marinacci, M., & Pirazzini, M. (2020). A behavioral characterization of the drift diffusion model and its multialternative extension for choice under time pressure. *Management Science*, *66*(11), 5075–5093.

Block, R. A., & Gruber, R. P. (2014). Time perception, attention, and memory: a selective review. *Acta Psychologica*, *149*, 129–133.

Bradford, W. D., Dolan, P., & Galizzi, M. M. (2019). Looking ahead: Subjective time perception and individual discounting. *Journal of Risk and Uncertainty, 58*(1), 43–69.

Carvalho, L. S., Meier, S., & Wang, S. W. (2016). Poverty and economic decision-making: Evidence from changes in financial resources at payday. *American Economic Review*, *106*(2), 260–84.

Celeghin, A., Diano, M., Bagnis, A., Viola, M., & Tamietto, M. (2017). Basic emotions in human neuroscience: neuroimaging and beyond. *Frontiers in Psychology, 8*, 1432.

Chen, Z., Guo, Y., & Feng, T. (2018). Neuroanatomical correlates of time perspective: A voxel-based morphometry study. *Behavioural Brain Research, 339*, 255–260.

Damsma, A., van der Mijn, R., & van Rijn, H. (2018). Neural markers of memory consolidation do not predict temporal estimates of encoded items. *Neuropsychologia*, *117*, 36–45.

Eryilmaz, H., Van De Ville, D., Schwartz, S., & Vuilleumier, P. (2011). Impact of transient emotions on functional connectivity during subsequent resting state: a wavelet correlation approach. *Neuroimage, 54*(3), 2481–2491.

Faro, D., McGill, A. L., & Hastie, R. (2013). The influence of perceived causation on judgments of time: an integrative review and implications for decision-making. *Frontiers in Psychology, 4*, 217.

Fereday, R., Buehner, M. J., & Rushton, S. K. (2019). The role of time perception in temporal binding: Impaired temporal resolution in causal sequences. *Cognition, 193*, 104005.

Fisher, G. (2017). An attentional drift diffusion model over binary-attribute choice. *Cognition*, *168*, 34–45.

Fobbs, W. C., & Mizumori, S. J. (2017). A framework for understanding and advancing intertemporal choice research using rodent models. *Neurobiology of Learning and Memory*, *139*, 89–97.

Guo, Y., Chen, Z., & Feng, T. (2017). The effect of future time perspective on delay discounting is mediated by the gray matter volume of vmPFC. *Neuropsychologia*, *102*, 229–236.

Han, R. , & Takahashi, T. . (2012). Psychophysics of time perception and valuation in temporal discounting of gain and loss. *Physica a Statal Mechanics & its Applications, 391*(24), 6568–6576.

Ikink, I., Engelmann, J. B., van den Bos, W., Roelofs, K., & Figner, B. (2019). Time ambiguity during intertemporal decision-making is aversive, impacting choice and neural value coding. *NeuroImage, 185*, 236–244.

Ivry, R. B., & Schlerf, J. E. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(7), 273–280.

Kaur, S., Kremer, M., & Mullainathan, S. (2015). Self-control at work. *Journal of Political Economy*, *123*(6), 1227–1277.

Kees, J. (2010). Temporal framing in health advertising: The role of risk and future orientation. *Journal of Current Issues & Research in Advertising*, *32*(1), 33–46.

Khosravi, P., Parker, A. J., Shuback, A. T., & Adleman, N. E. (2020). Attention control ability, mood state, and emotional regulation ability partially affect executive control of attention on task-irrelevant emotional stimuli. *Acta psychologica*, *210*, 103169.

Kim, B. K., & Zauberman, G. (2009). Perception of anticipatory time in temporal discounting. *Journal of Neuroence Psychology & Economics, 83*(2), 67–100.

Kim, B. K., & Zauberman, G. (2019). Psychological time and intertemporal preference. *Current Opinion in Psychology*, *26*, 90–93.

Kim, D., & Jang, S. S. (2017). Stress and food choices: Examining gender differences and the time horizon framing effect. *International Journal of Hospitality Management, 67*, 134–142.

Kim, J., & Nan, X. (2019). Temporal framing effects differ for narrative versus non-narrative messages: The case of promoting HPV vaccination. *Communication Research*, *46*(3), 401–417.

Kim, J., Kim, D., & Jung, M. W. (2018). Distinct dynamics of striatal and prefrontal neural activity during temporal discrimination. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 12*, 34.

Kim, K., & Kim, H. S. (2018). Time matters: Framing antismoking messages using current smokers' preexisting perceptions of temporal distance to smoking-related health risks. *Health Communication*, *33*(3), 338–348.

Koritzky, G., He, Q., Xue, G., Wong, S., Xiao, L., & Bechara, A. (2013). Processing of time within the prefrontal cortex: recent time engages posterior areas whereas distant time engages anterior areas. *Neuroimage*, *72*, 280–286.

Li, H., Guo, Y., & Yu, Q. (2019). Self-control makes the difference: The psychological mechanism of dual processing model on internet addicts' unusual behavior in intertemporal choice. *Computers in Human Behavior*, *101*, 95–103.

Manolis, C., & Roberts, J. A. (2012). Subjective well-being among adolescent consumers: the effects of materialism, compulsive buying, and time affluence. *Applied Research in Quality of Life*, *7*(2), 117–135.

Marinho, V., Oliveira, T., Rocha, K., Ribeiro, J., Magalhães, F., Bento, T., ... & Teixeira, S. (2018). The dopaminergic system dynamic in the time perception: a review of the evidence. *International Journal of Neuroscience*, *128*(3), 262–282.

Marini, M., & Paglieri, F. (2019). Decoy effects in intertemporal and probabilistic choices the role of time pressure, immediacy, and certainty. *Behavioural Processes, 162*, 130–141.

Masuda, A., Sano, C., Zhang, Q., Goto, H., McHugh, T. J., Fujisawa, S., & Itohara, S. (2020). The hippocampus encodes delay and value information during delay-discounting decision making. *Elife*, *9*, e52466.

McClure, S. M., Ericson, K. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2007). Time discounting for primary rewards. *Journal of Neuroscience*, *27*(21), 5796–5804.

McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2004). Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science, 306*(5695), 503–507.

Moos, K., Vossel, S., Weidner, R., Sparing, R., & Fink, G. R. (2012). Modulation of top-down control of visual attention by cathodal tDCS over right IPS. *Journal of Neuroscience, 32*(46), 16360–16368.

Muehlbacher, S., & Kirchler, E. (2019). Individual differences in mental accounting. *Frontiers in Psychology, 10*, 2866.

Nan, X., & Qin, Y. (2019). How Thinking about the Future Affects Our Decisions in the Present: Effects of Time

Orientation and Episodic Future Thinking on Responses to Health Warning Messages. *Human Communication Research, 45*(2), 148–168.

Nani, A., Manuello, J., Liloia, D., Duca, S., Costa, T., & Cauda, F. (2019). The neural correlates of time: a meta-analysis of neuroimaging studies. *Journal of Cognitive Neuroscience, 31*(12), 1796–1826.

Paasche, C., Weibel, S., Wittmann, M., & Lalanne, L. (2019). Time perception and impulsivity: A proposed relationship in addictive disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *106*, 182–201.

Paternoster, R., & Pogarsky, G. (2009). Rational choice, agency and thoughtfully reflective decision making: The short and long-term consequences of making good choices. *Journal of Quantitative Criminology*, *25*(2), 103–127.

Pine, A., Seymour, B., Roiser, J. P., Bossaerts, P., Friston, K. J., Curran, H. V., & Dolan, R. J. (2009). Encoding of marginal utility across time in the human brain. *Journal of Neuroscience*, *29*(30), 9575–9581.

Rajagopal, P., & Rha, J. Y. (2009). The mental accounting of time. *Journal of Economic Psychology, 30*(5), 772–781.

Read, D. (2001). Is time-discounting hyperbolic or subadditive?. *Journal of Risk and Uncertainty*, *23*(1), 5–32.

Reeck, C., Figner, B., Weber, E. U., Steffener, J., Krosch, A. R., Wager, T. D., & Johnson, E. J. (2021). Framing the future first: Medial temporal lobe activation discriminates delay and acceleration framing in intertemporal choice. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics, 14*(2), 71–80.

Sadoff, S., Samek, A., & Sprenger, C. (2020). Dynamic inconsistency in food choice: Experimental evidence from two food deserts. *The Review of Economic Studies*, *87*(4), 1954–1988.

Samanez-Larkin, G. R., Mata, R., Radu, P. T., Ballard, I. C., Carstensen, L. L., & McClure, S. M. (2011). Age differences in striatal delay sensitivity during intertemporal choice in healthy adults. *Frontiers in Neuroscience*, *5*, 126.

Sayman, S., & Öncüler, A. (2009). An investigation of time inconsistency. *Management Science*, *55*(3), 470–482.

Simons, J., Vansteenkiste, M., Lens, W., & Lacante, M. (2004). Placing motivation and future time perspective theory in a temporal perspective. *Educational Psychology Review*, *16*(2), 121–139.

Siu, N. Y., Lam, H. H., Le, J. J., & Przepiorka, A. M. (2014). Time perception and time perspective differences between adolescents and adults. *Acta Psychologica*, *151*, 222–229.

Sprenger, C. (2015). Judging experimental evidence on dynamic inconsistency. *American Economic Review*, *105*(5), 80–85.

Sripada, C. S., Gonzalez, R., Luan Phan, K., & Liberzon, I. (2011). The neural correlates of intertemporal decision-making: Contributions of subjective value, stimulus type, and trait impulsivity. *Human Brain Mapping*, *32*(10), 1637–1648.

Stephan, E., Liberman, N., & Trope, Y. (2011). The effects of time perspective and level of construal on social distance. *Journal of Experimental Social Psychology*, *47*(2), 397–402.

Szollos, A. (2009). Toward a psychology of chronic time pressure: Conceptual and methodological review. *Time & Society, 18*(2–3), 332–350.

Takahashi, T. (2005). Loss of self-control in intertemporal choice may be attributable to logarithmic time-perception. *Medical Hypotheses*, *65*(4), 691–693.

Takahashi, T., Oono, H., & Radford, M. H. (2008). Psychophysics of time perception and intertemporal choice models. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *387*(8–9), 2066–2074.

Tanaka, S. C., Doya, K., Okada, G., Ueda, K., Okamoto, Y., & Yamawaki, S. (2004). Prediction of immediate and future rewards differentially recruits cortico-basal ganglia loops. *Nature Neuroscience*, *7*(8), 887–893.

Tavares, G., Perona, P., & Rangel, A. (2017). The attentional drift diffusion model of simple perceptual decision-making. *Frontiers in Neuroscience*, *11*, 468.

Teki, S., Gu, B. M., & Meck, W. H. (2017). The persistence of memory: how the brain encodes time in memory. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *17*, 178–185.

Üstün, S., Kale, E. H., & Çiçek, M. (2017). Neural networks for time perception and working memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 83.

Wang, Q., Luo, S., Monterosso, J., Zhang, J., Fang, X., Dong, Q., & Xue, G. (2014). Distributed value representation in the medial prefrontal cortex during intertemporal choices. *Journal of Neuroscience*, *34*(22), 7522–7530.

Whillans, A. V., Dunn, E. W., Smeets, P., Bekkers, R., & Norton, M. I. (2017). Buying time promotes happiness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(32), 8523–8527.

Wittmann, M., & Paulus, M. P. (2008). Decision making, impulsivity and time perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(1), 7–12.

Wittmann, M., Leland, D. S., & Paulus, M. P. (2007). Time and decision making: differential contribution of the posterior insular cortex and the striatum during a delay discounting task. *Experimental Brain Research*, *179*(4), 643–653.

Wittmann, M., Simmons, A. N., Flagan, T., Lane, S. D., Wackermann, J., & Paulus, M. P. (2011). Neural substrates of time perception and impulsivity. *Brain Research*, *1406*, 43–58.

Xu, M., Zhang, S. Y., Dan, Y., & Poo, M. M. (2014). Representation of interval timing by temporally scalable firing patterns in rat prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(1), 480–485.

Yamada, Y., & Kawabe, T. (2011). Emotion colors time perception unconsciously. *Consciousness and Cognition*, *20*(4), 1835–1841.

Zauberman, G., Kim, B. K., Malkoc, S. A., & Bettman, J. R. (2009). Discounting time and time discounting: Subjective time perception and intertemporal preferences. *Journal of Marketing Research*, *46*(4), 543–556.

Zhang, S., Liu, P., & Feng, T. (2019). To do it now or later: The cognitive mechanisms and neural substrates underlying procrastination. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *10*(4), e1492.

Zhao, C. X., Jiang, C. M., Zhou, L., Li, S., Rao, L. L., & Zheng, R. (2015). The hidden opportunity cost of time

effect on intertemporal choice. *Frontiers in Psychology*, *6*, 311.

Zhou, L., Yang, Y., & Li, S. (2021). Music-induced emotions influence intertemporal decision making. *Cognition & Emotion*. Advance online publication.

Zhou, M. (2013). “I am Really Good at It” or “I am Just Feeling Lucky”: the effects of emotions on information problem-solving. *Educational Technology Research and Development, 61*(3), 505–520.

Zimbardo, P. G., & Boyd, J. N. (1999). Putting time in psychological perspective: a valid, reliable individual-differences metric. *Journal of Personality and Social Psychology*, *77*(6), 1271–1288.

The role of time perception in intertemporal decision-making New exploration of time decision-making model

BI Cuihua, QI Huaiyuan

(School of Psychology, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China)

Abstract: "Time" is the "necessity" of intertemporal decision-making. People's perception of time delay determines the result of intertemporal decision-making. In recent years, researchers have discovered that “time length perception”, “time resource perception” and “time frame perception” are the main ways that time perception affects intertemporal decision-making. The neural mechanism of action of time perception contains both micro-level and macro-level. The "logarithmic/exponential time discount model", "perceptual time base model" and "multimodal drift diffusion model" provide behavioral explanations for the way time perception works. However, the existing theoretical models still have many limitations, which are mainly embodied in two aspects: "prediction deviation of long and short time interval" and "deviation of actual decision and expected decision". Therefore, it is essential to explore in-depth the fundamental ways in which time perception affects intertemporal decision-making, analyze the limitations of existing theoretical models, and propose a mechanism framework for integration. Future research urgently needs to further integrate the theoretical models of time perception, and carry out research on brain mechanisms and applications, to more fully expose the nature of time perception and help individuals and society make more rational decisions.

Key words: time perception, intertemporal decision-making, time decision-making model, dynamic time perception perspective